

Ing. Viacheslav SHEMELIN
doc. Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.
ČVUT v Praze, Univerzitní
centrum energeticky efektivních
budov

Analýza solárního ohřevu pro bytový dům

Analysis of Solar Heating of an Apartment Building

Recenzent
Ing. Petr Šerks

Návrh solární soustavy pro přípravu teplé vody v bytovém domě je analyzován počítačovou simulací za účelem ověřit některá návrhová doporučení. Analýza ukazuje vliv návrhu plochy solárních kolektorů, vliv klimatických podmínek, vliv zapojení cirkulačního okruhu a návrhu objemu solárního zásobníku na solární pokrytí a měrné tepelné zisky solární soustavy.

Klíčová slova: solární soustava, solární pokrytí, příprava teplé vody

A design of a solar system for domestic hot water preparation in an apartment building is analysed by computer simulation in order to verify certain design recommendations. The analysis shows the influence of solar collector design area, the influence of climatic conditions, the influence of the circulation circuit configuration and the influence of the design volume of the solar storage tank on the solar fraction and specific heat gains of the solar system.

Keywords: solar system, solar fraction, domestic hot water preparation

ÚVOD

Využití sluneční energie pro přípravu teplé vody v budovách je výhodné vzhledem k celoročně přibližně konstantní potřebě tepla na její ohřev. Solární ohřev vody lze v bytových domech snadno integrovat do stávající soustavy přípravy teplé vody jako předřazený stupeň (předehřev). Konvenční ohřev vody pak slouží pro pohotovostní dohřev jako záložní zdroj. Solární soustavy pro přípravu teplé vody mají dobrou využitelnost, v současnosti jsou již relativně rozšířené, veřejností jsou vnímány jako smysluplné opatření a pro jejich realizaci jsou poskytovány státní dotace.

Aby byla instalace solární soustavy pro přípravu teplé vody efektivní, je nezbytné již při návrhu solární soustavy vyhodnotit reálné energetické přínosy. Solární tepelné zisky nejsou závislé pouze na kvalitě navržených prvků (kolektor, zásobník), ale také na návrhu plochy solárních kolektorů vzhledem k potřebě tepla, resp. na požadovaném solárním pokrytí, na tepelných ztrátách solární soustavy (potrubí kolektorového okruhu, solární zásobník) či na orientaci a sklonu solárních kolektorů. Řada výrobců i montážních firem v pochopitelné snaze zjednodušit projektování solární soustavy využívá při návrhu zkušenosti z praxe a směrné hodnoty. Následující analýza ukazuje vliv dimenzování hlavních prvků solární soustavy (solární kolektor, solární zásobník), které se v běžně používaných zjednodušených nástrojích pro hodnocení zisků solární soustavy [1] neuvažují, na energetické přínosy a solární pokrytí.

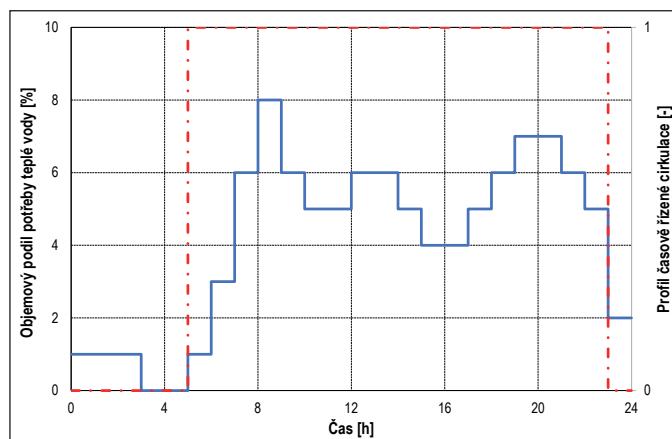
SOLÁRNÍ SOUSTAVA

Vliv návrhu prvků solární soustavy byl zkoumán na soustavě pro přípravu teplé vody v bytovém domě obývaném 100 osobami s průměrnou spotřebou teplé vody 40 l/os.den při teplotní úrovni 55 °C. Teplota studené vody byla celoročně uvažována konstantní 10 °C. Odběr teplé vody byl uvažován s profilem charakteristickým pro bytový dům [2] a letním poklesem odběru o 25 % oproti průměru. Potřeba tepla na vlastní ohřev vody (bez ztrát rozvodů teplé vody) je 73,2 MWh/rok. Pro bytový dům se uvažuje s časově řízenou cirkulací teplé vody během dne (viz obr. 1). Celková roční potřeba tepla pro přípravu teplé vody je 107 MWh/rok, tzn. tepelné ztráty přípravy teplé vody činí cca 46 % z potřeby tepla na vlastní ohřev vody.

Pro solární soustavu byly navrženy ploché solární kolektory o ploše apertury 100 m² se sklonem 45° a orientací k jihu. To odpovídá běžnému

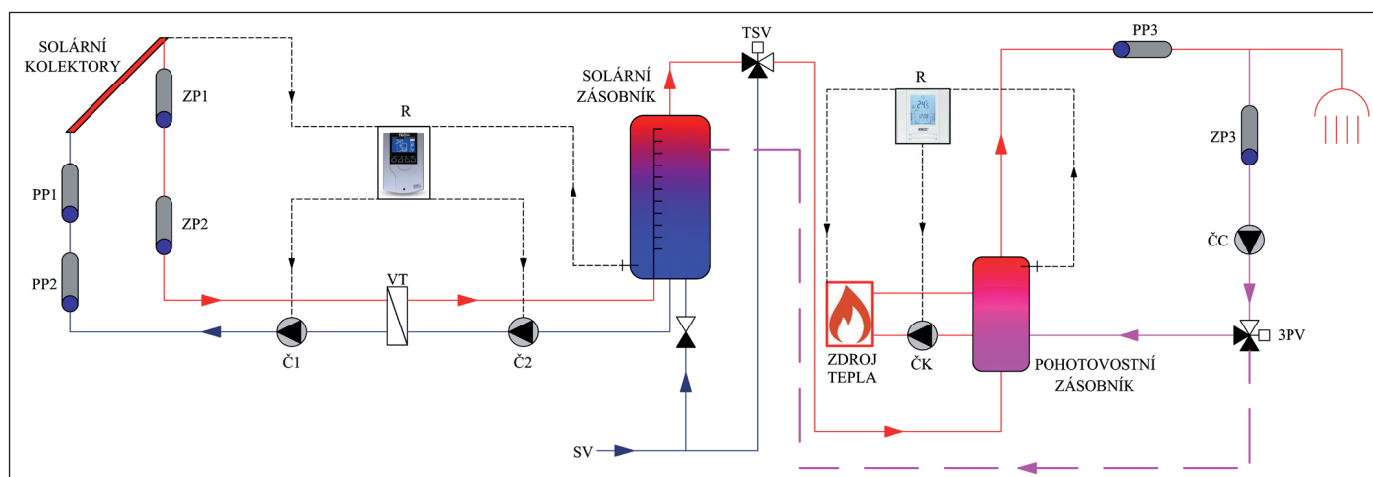
návrhovému poměru 25 m²/m³ připravované teplé vody. Byla uvažována průměrná kvalita solárních kolektorů, křivka účinnosti je dána koeficienty $\eta_0 = 0,75$, $a_1 = 3,58 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $a_2 = 0,017 \text{ W/m}^2\text{K}^2$. Koeficienty jsou vztaheny k ploše apertury solárního kolektoru. Schéma solární soustavy pro ohřev vody je znázorněno na obr. 2.

Kolektorový okruh má celkovou délku potrubí 100 m, z toho polovina je vedena uvnitř budovy. Vnitřní průměr hlavního potrubí je 20 mm (Cu 22 × 1 mm). Potrubí je opatřeno tepelnou izolací tloušťky 25 mm. Pro předání tepla z kolektorového okruhu do solárního zásobníku je použit deskový výměník tepla s návrhovou účinností sdílení tepla 80 % pro průtok v kolektorovém okruhu 1000 l/h a při teplotním spádu 42/32 °C. Objem solárního zásobníku byl navržen 5 m³, což odpovídá běžnému návrhovému poměru 50 l/m² plochy solárních kolektorů. Na výstupu ze solárního zásobníku je instalován termostatický směšovací ventil TSV s nastavením 55 °C pro omezení maximální teploty vody vystupující ze solárního zásobníku do pohotovostního zásobníku s dohřevem vody. Objem pohotovostního zásobníku je 500 l a je trvale dohříván na požadovanou teplotu 55 °C (s hysterezí 5 K). Na pohotovostní zásobník je napojen rozvod teplé vody a cirkulace. Kromě toho je na patě cirkulace instalován trojcestný přepínací ventil 3PV, který umožňuje v případě dostatečné teploty v solárním zásobníku přepnout cirkulační okruh pro dohřev solárním teplem.



Obr. 1 Profil odběru teplé vody pro bytový dům [2] a provoz časově řízené cirkulace teplé vody

Fig. 1 Domestic hot water load profile for apartment building [2] and time-controlled hot water circulation



Obr. 2 Schéma solární soustavy pro přípravu teplé vody

Fig. 2 Schematic diagram of the solar system for domestic hot water preparation

Simulační analýza byla provedena v prostředí TRNSYS s dostupnými modely prvků. Klimatické údaje použité pro simulaci byly převzaty z typického meteorologického roku TMY (Meteonorm) pro Prahu. Klimatické údaje vykazují relativně konzervativní úhrn dopadající sluneční energie na vodorovnou rovinu 998 kWh/m².rok s roční průměrnou teplotou venkovního vzduchu 7,9 °C. Úhrn sluneční energie dopadající na rovinu solárních kolektorů je 1118 kWh/m².rok.

Solární soustava podle uvedeného referenčního návrhu vykazuje roční solární pokrytí potřeby tepla na úrovni 43 % a měrné solární zisky 459 kWh/m².rok. Solární pokrytí je definováno jako:

$$f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} \quad [-] \quad (1)$$

kde je:

$Q_{ss,u}$ využitý solární zisk, úspora tepla pro ohřev vody [MWh/rok],
 $Q_{p,c}$ celková potřeba tepla pro přípravu teplé vody [MWh/rok].

Pro účely vyhodnocení v případě simulační analýzy lze použít i jiný zápis, který uvažuje, že přínos solární soustavy $Q_{ss,u}$ je rozdíl mezi potřebou tepla a dodávkou tepla záložním ohřevem:

$$f = 1 - \frac{Q_{zz}}{Q_{p,c}} \quad [-] \quad (2)$$

kde Q_{zz} [MWh/rok] je teplo dodané záložním zdrojem (dohřevem).

Solární pokrytí vyjadřuje poměrnou úsporu tepla dodávaného nahrazovaným zdrojem energie, z níž lze dále vyjádřit úsporu paliva, emisí CO₂ či neobnovitelné primární energie, a je tedy do jisté míry ekologickým kritériem.

Měrné solární zisky se stanoví jako:

$$q_{ss,u} = \frac{Q_{ss,u}}{A_k} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (3)$$

kde A_k [m²] je plocha apertury solárních kolektorů.

Z měrných zisků, stanovených takto jako energetický přínos z 1 m² instalované plochy kolektorů, lze vyjádřit úsporu provozních nákladů z instalované plochy kolektorů, která má přímý vliv na výši investice. Měrné

zisky lze proto považovat za ekonomické kritérium návrhu solární soustavy. Zároveň z měrných zisků je možné určit celkovou roční účinnost solární soustavy podle vztahu:

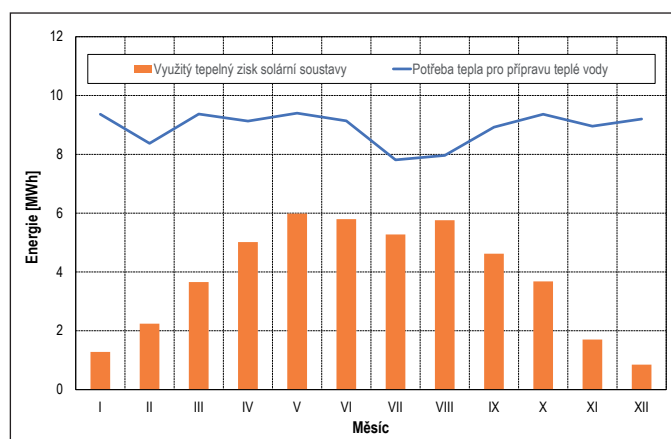
$$\eta_{ss} = \frac{Q_{ss,u}}{Q_s} = \frac{Q_{ss,u}}{H_t A_k} = \frac{q_{ss,u}}{A_k} \quad [-] \quad (4)$$

kde H_t [kWh/m².rok] je úhrn dopadající sluneční energie na plochu kolektorů.

V návrhovém případě je účinnost solární soustavy na úrovni 41 %. Účinnost solární soustavy zohledňuje nejen ztráty v rozvedech kolektorového okruhu a ztráty solárního zásobníku, ale také využitelnost produkce tepla kolektory zejména v letním období. Na obr. 3 je znázorněna měsíční bilance solární soustavy.

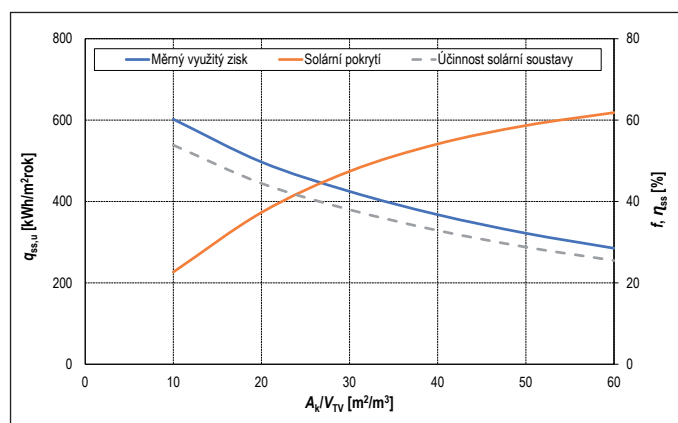
Obr. 4 ukazuje výsledek simulace dané solární soustavy s různým návrhovým poměrem plochy solárních kolektorů A_k [m²] k denní potřebě teplé vody V_{tv} [m³] ve formě křivky solárního pokrytí a křivky měrných využitých zisků. Z grafu je patrná obecná zákonitost, že s instalovanou plochou kolektorů solární pokrytí roste, nicméně od určité hodnoty poměru (okolo 40 m²/m³) je nárůst již pozvolný.

S rostoucím solárním pokrytím na druhé straně klesají měrné využitý solární zisky solární soustavy, protože nárůst pokrytí tepla je doprovázen zvýšením průměrné provozní teploty v solárním zásobníku t_{zas} [°C]

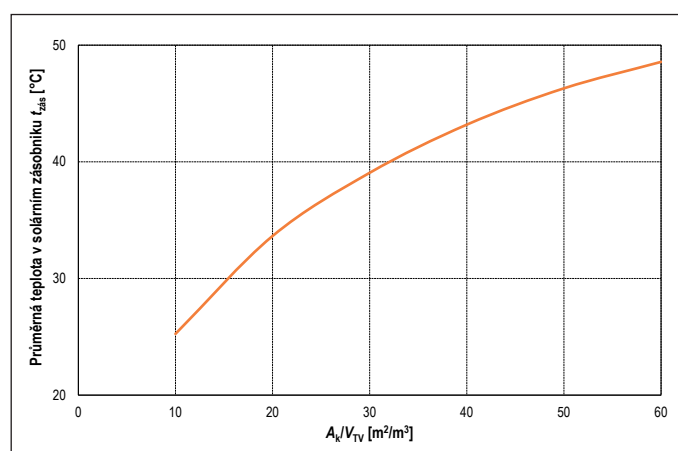


Obr. 3 Balance referenčního návrhu solární soustavy

Fig. 3 Balance of the reference design of the solar system



Obr. 4 Vliv návrhu plochy solárních kolektorů na roční provozní parametry
Fig. 4 Influence of solar collector sizing on annual operation parameters



Obr. 5 Vliv návrhu plochy solárních kolektorů na roční průměrnou teplotu v solárním zásobníku
Fig. 5 Influence of solar collector sizing on annual average temperature in the solar storage tank

(viz obr. 5), a tedy i v kolektorech. To je příčinou nárůstu provozních tepelných ztrát a poklesu účinnosti solárních kolektorů. Zároveň se při vysokých hodnotách solárního pokrytí snižuje i využitelnost solárních zisků v letním období, kdy jsou čtenější období stagnace bez odběru tepla z kolektorů z důvodu dosažení maximální teploty v solárním zásobníku. S rostoucím solárním pokrytím tedy klesají měrné zisky a jinými slovy lze konstatovat, že s rostoucím ekologickým přínosem se zhoršují ekonomické parametry solární soustavy.

VLIV KLIMATICKÝCH PODMÍNEK

Při běžném navrhování a bilancování solárních soustav je možné se setkat s různými zdroji klimatických údajů. Lze předpokládat, že solární pokrytí a zisky budou výrazně závislé na dopadajícím slunečním záření, nicméně v rámci ČR se úhrn slunečního záření pro různé lokality příliš neliší. Pro referenční solární soustavu bylo proto provedeno porovnání v 5 různých lokalitách se známými hodinovými údaji typického meteorologického roku (Praha, Ostrava, Churáňov, Hradec

Tab. 1 Porovnání účinnosti solární soustavy v 5 různých lokalitách v rámci ČR

Tab. 1 Comparison of solar system efficiency in 5 different locations within the Czech Republic

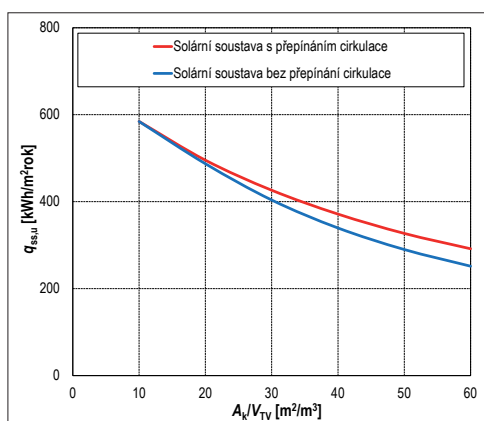
Lokalita	$t_{e,r}$ [°C]	H [kWh/m²]	H_T [kWh/m²]	f [%]	$q_{ss,u}$ [kWh/m²]	η_{ss} [%]
Praha	7,9	998	1118	42,9	459	41,0
Ostrava	8,2	1038	1171	45,1	485	41,4
Churáňov	5,1	1074	1270	46,8	502	39,5
Hradec Králové	8,3	1078	1228	47,2	507	41,3
Kuchařovice	8,2	1107	1254	48,0	516	41,1

Králové a Kuchařovice). Zdrojem klimatických údajů je databáze Meteo-norm. Charakteristické klimatické podmínky jako průměrná roční teplota venkovního vzduchu $t_{e,r}$, úhrn dopadající sluneční energie na vodorovnou rovinu H [kWh/m².rok] a úhrn sluneční energie dopadající na rovinu solárních kolektorů H_T [kWh/m².rok] jsou uvedeny v tab. 1. Zároveň jsou v tab. 1 porovnány roční využití zisky referenční solární soustavy v různých lokalitách, solární pokrytí potřeby tepla a roční účinnost soustavy. Je zřejmé, že účinnost solární soustavy se v rámci České republiky výrazně s klimatickými údaji nemění, především s ohledem na vysokou využitelnost tepla produkovaného solárními kolektory při hodnotě solárního pokrytí pod 50 %.

VLIV ZAPOJENÍ CÍRKULAČNÍHO OKRUHU

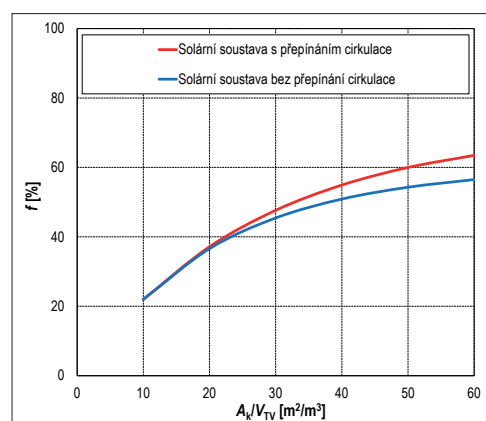
Aby byla instalace solární soustavy pro přípravu teplé vody efektivní, je nutné omezit spotřebu teplé vody a tepla na její přípravu úspornými opatřeními, například omezením tepelných ztrát rozvodů teplé vody nebo omezením běhu cirkulace na nezbytně nutnou dobu, případně využitím řízení cirkulace na základě teplotních čidel. Kromě toho se pro zvýšení využití sluneční energie v přípravě teplé vody doporučuje instalace trojcestného přepínacího ventilu 3PV do vratného potrubí cirkulace z objektu (viz obr. 2), aby bylo možné tepelné ztráty cirkulací v případě dostatečné teploty v solárním zásobníku pokrýt solárními zisky. Pokud je v solárním zásobníku k dispozici dostatečná teplota pro ohřev, přepíná se do něj celý průtok cirkulace.

Pro danou solární soustavu bylo proto provedeno porovnání pro variantu s přepínáním cirkulace mezi pohotovostním a solárním zásobníkem (s 3PV, viz referenční solární soustava) a bez přepínání (bez 3PV). V grafu na obr. 6 jsou pro obě varianty uvedeny závislosti solárního pokrytí f [%] a ročních měrných využitých zisků $q_{ss,u}$ [kWh/m².rok] na návrhovém poměru A_k / V_{TV} .



Obr. 6 Vliv zapojení cirkulace do solárního zásobníku pro různé úrovně dimenzování solární soustavy

Fig. 6 Influence of the configuration of circulation circuit to the solar storage tank for different sizing of the solar system



Z grafu na obr. 6 je patrné, že instalace trojcestného ventilu pro přepínání cirkulace přispívá k vyšším dosaženým měrným solárním ziskům i k vyššímu solárnímu pokrytí. Důvodem je vyšší využitelnost solárních zisků (obzvláště v létě), kdy v případě dostatečné teploty v solárním zásobníku solární soustava s přepínáním kryje i tepelné ztráty cirkulací teplé vody. Z grafu na obr. 6 dále vyplývá, že čím je návrhový poměr plochy solárních kolektorů vyšší, tím je vyšší průměrná teplota v solárním zásobníku (viz obr. 5), tím častěji je cirkulace teplé vody přepínána do solárního zásobníku a tím je výraznější rozdíl v přínosu mezi systémem s přepínáním cirkulace a bez přepínání.

VLIV OBJEMU SOLÁRNÍHO ZÁSOBNÍKU

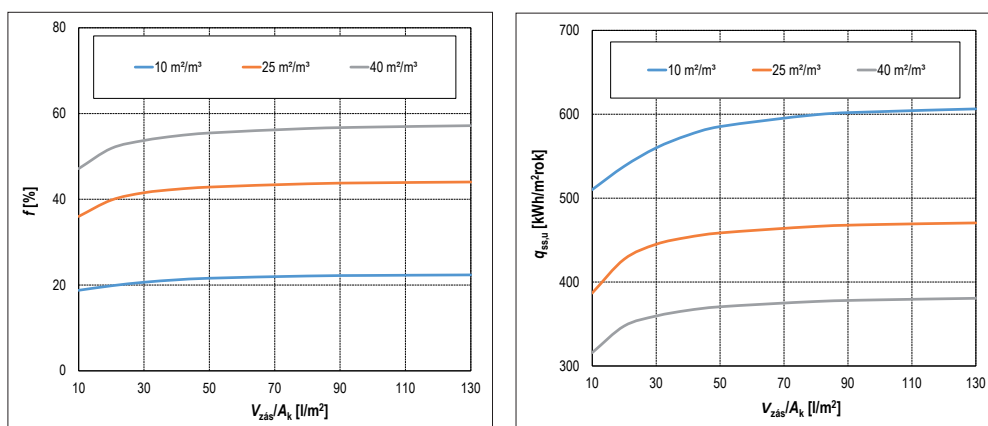
Návrh objemu solárního zásobníku pro solární soustavu závisí na řadě faktorů, především na konkrétní aplikaci a požadovaném solárním pokrytí, dále na velikosti kolektorové plochy, maximální dovolené teplotě v zásobníku, případně i odběrovém profilu. Pro praxi se pro návrh objemu solárního zásobníku uvádí zjednodušeně návrhový poměr 50 l/m² plochy apertury instalovaných solárních kolektorů [3]. Otázkou je, zda pro solární soustavu pro ohřev vody v bytovém domě s návrhovým pokrytím zpravidla nepřesahujícím 50 % nelze počítat i s menším objemem solárního zásobníku.

Byla provedena simulační analýza solárního pokrytí a měrných zisků pro různé návrhové poměry A_k/V_{TV} [m²/m³] pro solární soustavu při různém navrženém objemu solárního zásobníku $V_{z\acute{s}}$. Výsledky jsou uvedeny v grafech na obr. 7. Z grafů je patrné, že s rostoucím objemem solárního zásobníku, vyjádřeným v poměru k ploše apertury kolektorů, roste i solární pokrytí a měrné zisky solární soustavy. Pro nízké návrhové poměry A_k/V_{TV} okolo 10 m²/m³ v solárních soustavách pro přehřev vody je křivka solárního pokrytí v závislosti na objemu solárního zásobníku relativně plochá a optimální objem solárního zásobníku je nízký, na úrovni 40 l/m². Naopak, pro předimenzované soustavy s pokrytím přesahujícím 50 % při návrhovém poměru okolo 40 m²/m³ je optimálním objemem až hodnota okolo 60 l/m². Nad hodnotou optimálního objemu již nedochází k výraznému nárůstu solárního pokrytí, a je tedy zbytečné navyšovat investici. Z grafů je také patrné, že pro běžné dimenzování solárních soustav je nevhodné navrhovat solární zásobníky s objemem pod 30 l na 1 m² plochy apertury solárních kolektorů, neboť dochází k výraznému poklesu solárního pokrytí a měrných solárních zisků.

ZÁVĚR

Ze simulační analýzy solární soustavy pro ohřev vody v bytovém domě vyplynulo několik důležitých závěrů, které v podstatě potvrzují dobrou návrhovou praxi, případně ji rozšiřují pro případy, se kterými se při dimenzování lze také setkat:

- Solární soustavy s nízkým solárním pokrytím vedou k vysoké účinnosti na úrovni až 60 %, zatímco předimenzované soustavy mají účinnost nízkou na úrovni 30 % vlivem vysokých tepelných ztrát a nízké využitelnosti produkce tepla kolektory v letním období. Typická účinnost solární soustavy pro ohřev vody s návrhovým poměrem 25 m² kolektorů na 1 m³ připravované teplé vody je okolo 40 %.



Obr. 7 Vliv objemu solárního zásobníku na solární pokrytí a na měrné zisky soustavy pro přípravu teplé vody

Fig. 7 Influence of the solar storage tank sizing on the solar fraction and the specific heat gains of the system for domestic hot water preparation

- S rostoucí navrženou plochou solárních kolektorů roste solární pokrytí, nicméně od typického návrhového poměru A_k/V_{TV} okolo 25 m²/m³ se nárůst již zpomaluje. Zvýšením návrhové plochy kolektorů o polovinu nad tuto hodnotu se solární pokrytí zvýší pouze o 10 %. Na druhé straně s takto zvýšenou plochou kolektorů výrazně klesají měrné tepelné zisky solární soustavy až k hodnotě okolo 350 kWh/m²·rok, běžně uznávané za hranici efektivní instalace.
- Z analýzy vlivu klimatických údajů lze vyvodit, že v rámci České republiky jsou klimatické podmínky v různých oblastech srovnatelné a výpočty vedou k podobným hodnotám účinnosti solární soustavy pro dané dimenzování.
- Pro vyšší využití sluneční energie v přípravě teplé vody krytím i tepelných ztrát cirkulace vody je vhodná instalace třicestného přepínacího ventilu do vratného potrubí cirkulace z objektu. Zatímco pro solární systém s návrhovým poměrem 25 m²/m³ takové zapojení umožňuje zvýšit solární pokrytí pouze o 2 % (v porovnání se solární soustavou bez přepínání cirkulace), v případě solárních soustav s vysokým návrhovým poměrem A_k/V_{TV} je možné zvýšit hodnotu solárního pokrytí až o 8 %.
- Simulační analýzou bylo potvrzeno, že optimální hodnota objemu solárního zásobníku pro typický návrhový poměr 25 m²/m³ se pohybuje okolo 50 l/m². Pro solární soustavy s nízkým návrhovým poměrem lze objem solárního zásobníku snížit na úroveň 40 l/m² kolektorové plochy, naopak pro předimenzované solární soustavy je zapotřebí objem solárního zásobníku vyšší až na úrovni 60 l/m². Nižší hodnoty objemu zásobníku než uvedené optimální hodnoty v daných případech způsobují výrazné snížení solárního pokrytí, vyšší hodnoty naopak již nepřinášejí zvýšení solárního pokrytí.

Kontakt na autora: Viacheslav.Shemelin@cvut.cz

Poděkování: Tento článek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605.

Použité zdroje:

- [1] TNI 73 0302. Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup. Praha: ÚNMZ, 2014.
- [2] ČSN EN 12831-3. Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [3] MATUŠKA, T. Solární zařízení v příkladech. GRADA Publishing, Praha 2012.